

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-166036  
 (43)Date of publication of application : 13.06.2003

(51)Int.Cl. C22C 38/00  
 C21D 9/32  
 C22C 38/38  
 F16H 55/06  
 F16H 55/26

(21)Application number : 2001-363051

(71)Applicant : KOYO SEIKO CO LTD  
 KOBE STEEL LTD

(22)Date of filing : 28.11.2001

(72)Inventor : OTA ATSUHIKO  
 KAMEI AKIRA  
 IDOJIRI HIROSHI  
 ANAMI GORO**(54) STEERING RACK STEEL AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To manufacture a steering rack steel superior in bendability at a low cost.  
**SOLUTION:** A raw steel for the steering rack steel includes 0.40–0.60% C, 0.05–0.50% Si, 0.05–1.50% Mn, 0.004–0.100% S, further 1.5% or less Cr, 0.0005–0.10% Al, 0.002–0.020% N, as other elements, and the balance Fe with unavoidable impurities. The method for manufacturing the steering rack steel comprises rolling the above raw steel, heating the obtained steel bar at 820° C or higher, cooling it in a controlled condition, and tempering it at 680° C or higher in a short period of 20 minutes or less, to make the part of D/4 deep (D indicates a diameter of the steel bar) from the surface of the bar, to be a tempered bainitic structure and a tempered martensite structure occupying 20–100% (area percentage), and be a reproduced perlite structure occupying 0–50% (area percentage), by total area.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 26.07.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

**BEST AVAILABLE COPY**

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] C:0.40 – 0.60% (it is the same the following which means mass %), Si:0.05–0.50%, Mn:0.05–1.50%, and S:0.004 – 0.100% are contained. As an element of further others Cr: Less than [ 1.5% ] (0% is not included), aluminum:0.0005–0.10%, It is the steel bar with which at least one sort of elements chosen from the group which consists of N:0.002 – 0.020% are contained, and the remainder consists of Fe and an unescapable impurity. And by hardening and short-time annealing hardening / tempering organization of the parts of the front face of a steel bar to depth D / 4 (D shows the diameter of a steel bar) — the following — the steel for steering racks excellent in the bending property currently adjusted like 1 and 2.

1) A tempering bainite texture and tempering martensitic structure are the sum totals, and it is 20 – 100% (area percentage).

2) A playback pearlite organization is 0 – 50% (area percentage).

[Claim 2] Steel for steering racks according to claim 1 which is what is independent or contains further B:0.0005 – 0.0020% with Ti:0.005–0.050%.

[Claim 3] C:0.40 – 0.60% (it is the same the following which means mass %), Si:0.05–0.50%, Mn:0.05–1.50%, and S:0.004 – 0.100% are contained. As an element of further others Cr: Less than [ 1.5% ] (0% is not included), aluminum:0.0005–0.10%. And at least one sort of elements chosen from the group which consists of N:0.002 – 0.020% are contained. The remainder rolls out the steel materials which consist of Fe and an unescapable impurity, and the steel bar obtained is heated in temperature of 820 degrees C or more. By putting into the furnace heated to ambient temperature with a temperature of 680 degrees C or more, performing short-time tempering processing for 20 or less minutes, and carrying out air cooling to a room temperature, after carrying out controlled cooling to a room temperature with water cooling The parts of depth D / 4 (D shows the diameter of a steel bar) are made for a tempering bainite texture and tempering martensitic structure to become 20 – 100% (area percentage) from the front face of a steel bar in total. And the manufacture approach of the steel for steering racks excellent in the bending property from which the playback pearlite organization was made to become 0 – 50% (area percentage).

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

#### [0001]

[Field of the Invention] This invention relates to a steel bar useful although the rack (steering rack) used for the steering gear of an automobile is manufactured, and its manufacture approach.

#### [0002]

[Description of the Prior Art] A steering is equipment which controls the direction of an automobile, and since it will cause serious accident if the function is lost, it is specified as the important Safety Department article. Especially, since the steering rack also has the skeleton-role, not to roughly \*\*\*\*, even if a big impact load acts like, when an automobile runs aground to a curbstone is desired. Therefore, an impact property-proof with the expensive steel materials for steering racks and bending deformability (cracking resistance) are called for. Furthermore, the steering rack has the tooth-form section (rack) for gearing with a pinion. As for this tooth form section, abrasion resistance is required.

[0003] In order to fill the above-mentioned demand, a steering rack is usually manufactured from medium carbon steel. That is, after rolling out medium carbon steel and carrying out hardening tempering processing of the obtained steel bar, the steering rack is manufactured by forming and carrying out induction hardening of the tooth-form section (rack) by cutting. The medium carbon steel which carried out hardening tempering processing has a high impact property-proof and bending deformability. Moreover, since medium carbon steel also has the induction-heat-treatment hardening property, it can also raise the abrasion resistance of the tooth form section (rack).

[0004] However, generally, after heating said hardening tempering processing at a hardening furnace, it carries out water cooling, it is performed by performing tempering processing at the temperature of 600 degrees C for about 2 hours, and productivity is low and has become high cost. Although it is possible to shorten tempering time amount in order to cut down the cost, if tempering time amount is shortened, softening [ of a steel bar ] will become inadequate, the machinability of the tooth form section (rack) will fall, and the effectiveness of a cost cut will be offset. In addition, in order to perform cutting, to be Vickers hardness number, for example, to be 305 or less HV is demanded.

[0005] On the other hand, there is also invention which has proposed non-temper-ization of steel for a cost cut. For example, invention given in JP,10-8189,A In the components to which induction hardening processings, such as a steering rack, are performed It is making to prevent fracture by carrying out bending deformation, without producing brittleness-fracture, even if an excessive load acts on components into the technical problem. In order to aim at reduction of a manufacturing cost furthermore, while omitting the hardening tempering processing currently carried out from the former, even if it omits these hardening tempering processing, it is making to acquire an equivalent strength property into the technical problem. And in this invention, in order to solve said technical problem, while improving the bending property of the induction hardening processing section by adding B to steel, when it sets the effective depth of the induction hardening section to t and a components radius is set to r, reinforcement is raised by making t/r or more into 0.3.

#### [0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This invention is made paying attention to the above situations, and the purpose is in providing with the useful steel for steering racks, and its manufacture approach manufacturing the steering rack which is extremely excellent in a bending property, though it is low cost.

#### [0007]

[Means for Solving the Problem] this invention persons aimed at carrying out tempering time amount at the time of annealing, after rolling out and hardening medium carbon steel in 20 or less minutes in order to attain the technical problem of said low cost. and — such short tempering time amount — cutting ability — being maintainable (there being nothing phase murder about the effectiveness of a cost cut) — if tempering temperature is made into 680 degrees C or more as a result of repeating research wholeheartedly about the manufacture conditions which can also raise the bending property after carrying out high-frequency induction heating — tempering time amount — a short time (20 or less minutes) — even if — When performing short-time tempering processing moreover and the organization of steel was controlled [ that hardness can be reduced even to extent in which cutting is possible (to for example, 305 or less HV extent), and ], it discovered that the bending property when processing steel into a steering rack could be raised. Namely, while introducing a bainite texture and martensitic structure more than 20% (area percentage) in total by adding Mn to said medium carbon steel, and carrying out controlled cooling at the time of hardening So that the area of the sum total of a tempering bainite texture and tempering martensitic structure may not turn around 20% the bottom in the case of annealing of said short time And if it anneals so that a playback pearlite organization may not exceed 50% (area percentage) The obtained steel (steel bar) Cutting, when it carries out induction hardening and a steering rack is manufactured, For example, although a crack goes into the induction hardening section formed in the surface section of a steering rack even if it performs about 150-degree very big bending Boundary [usual with the part by which induction hardening was not carried out to the induction hardening section, and below partial; of the front face of a steel bar to depth D / 4 (D shows the diameter of a steel bar) It discovered that propagation of a crack could be prevented by said

tempering bainite texture and tempering martensitic structure which remain in] which may only call said parts of depth D / 4 the D/4 section, and it could prevent that the steering rack itself breaks.

[0008] It is as follows when the above thing is explained based on data.

[0009] It is the graph which shows the relation between the temperature of a furnace in case drawing 1 anneals a steel bar for 20 minutes including a temperature up process, and the hardness of the D/4 section of the steel bar after annealing about machinability. 1) Drawing 2 It is the electron microscope photograph of the D/4 section after performing annealing for 20 minutes at the temperature of 750 degrees C, and drawing 3 is the electron microscope photograph of the D/4 section after performing hardening / tempering processing (for the temperature of 600 degrees C, and 120 minutes) on condition that the former. If temperature of a furnace is made into 680 degrees C or more even if it shortens tempering time amount in 20 minutes so that more clearly than drawing 1, hardness of a steel bar can be made into 305 or less HV extent, and the fall of machinability can be prevented. In order that the temperature of a steel bar may go up, the circumference of carbide austenitizes that short-time annealing can also reduce the hardness of a steel bar, and it is presumed because balling-up of carbide is promoted (refer to drawing 2 and drawing 3 ).

[0010] 2) After the bending property carried out the drawing of the steel bar after annealing (diameter of 30mm) to the diameter of 27.5mm about the bending property, performing a bending test about what performed and carried out induction heat treatment of the tooth-form cutting (steering rack) estimated. In the bending test, by the three-point bending test (distance between the supporting points of 400mm), the dental opposite side was pressed, bending with an include angle of 150 degrees was performed, and the existence of a crack was observed visually. By this trial, in addition, with "those with a crack (it writes by x mark among the following table 1)" Only not only in the induction hardening section (part from the front face of a steel bar to D / 4 section extent) It means that the crack has spread to the part by which induction hardening is not carried out (from a part deeper than the D/4 section to near a core), and means having not spread to near a core, even if there is no crack completely with "he having no crack (it writing by O mark among the following table 1)" or there is a crack. The relation between the organization of the D/4 section of the steel bar after annealing and the bending test result of the steering rack obtained from this steel bar is shown in Table 1. In addition, the bending test was similarly performed about the steering rack obtained by omitting hardening annealing according to the approach of a publication to said JP,10-8189,A. This result is also collectively shown in Table 1.

[0011]

[Table 1]

表1

No.	鋼材の製法	鋼材の組織		曲げ試験結果
		ペイナイト組織+マルテンサイト組織 (面積百分率)	再生パーライト組織 (面積百分率)	
1	制御冷却 短時間焼戻し	20%	0%	○
2		0%	0%	×
3		35%	0%	○
4		60%	0%	○
5		35%	25%	○
6		35%	50%	○
7		35%	60%	×
8	焼入れ焼戻し を省略	0%	—	×

[0012] Since propagation of the crack from the induction hardening section can be prevented to a steering rack breaking if the area percentage (it may be hereafter written as a B+M percentage) of the sum total of the tempering bainite texture of the D/4 section and tempering martensitic structure is 0% (No.2) if a B+M percentage is 20% or more so that more clearly than Table 1, the crack of the steering rack itself can be prevented (No.1, 3-6). In addition, by short-time annealing, as mentioned above, since it is annealing at the elevated temperature with a temperature of 680 degrees C or more, even if it introduces a bainite texture and martensitic structure by controlled cooling, after annealing is the organization which the carbide which spheroidized distributed (refer to above-mentioned drawing 2 ). However, even if it is the tempering bainite texture and tempering martensitic structure which spheroidized, the effectiveness which controls propagation of a crack is not spoiled at all.

[0013] it is important to make it the rate of a playback pearlite organization not become large too much by short-time tempering processing furthermore (for example, the thing for which tempering temperature is not made high too much -- or a rebirth of a pearlite organization can be controlled by making tempering time amount still shorter than 20 minutes). If it exceeds 50% (area percentage), bending property sufficient as for 20% or more is not [ even if / a B+M percentage ] securable, since an organization is coarse and a playback pearlite is deficient in it to toughness (No.7 of Table 1).

[0014] In addition, in an electron micrograph, a playback pearlite organization, a tempering bainite texture, and tempering martensitic structure are the followings, and are made and identified. Drawing 4 is an electron microscope photograph in which an example of the steel bar with which the playback pearlite organization was formed is shown. Most lamellar organizations of a playback pearlite are not divided so that clearly from this drawing 4 . The lamellar organization of a playback pearlite is not divided for generating a pearlite organization by carrying out air cooling of the austenite produced at the time of short-time (elevated temperature) annealing. On the other hand, the pearlite organization which suited before annealing is divided by heating at the time of annealing. Therefore, a playback pearlite organization (pearlite organization which is not divided) can distinguish from the pearlite organization which existed from before annealing easily.

[0015] Moreover, tempering organizations other than a ferrite and a pearlite organization (lamellar organization) are made into a tempering bainite texture and tempering martensitic structure. That is, although it is difficult to distinguish a tempering bainite texture and tempering martensitic structure, it can ask for a B+M percentage by measuring the area of tempering organizations other than a ferrite and a pearlite organization (lamellar organization).

[0016] This invention is made based on the above knowledge. With namely, the steel for steering racks excellent in the bending property of this invention that the above-mentioned purpose could be attained C:0.40 – 0.60% (it is the same the following which means mass %), Si:0.05–0.50%, Mn:0.05–1.50%, and S:0.004 – 0.100% are contained. As an element of further others Cr: Less than [ 1.5% ] (0% is not included), aluminum:0.0005–0.10%, It is the steel bar with which at least one sort of elements chosen from the group which consists of N:0.002 – 0.020% are contained, and the remainder consists of Fe and an unescapable impurity. And by hardening and short-time annealing hardening / tempering organization of the parts of the front face of a steel bar to depth D / 4 (D shows the diameter of a steel bar) — the following — it has a summary at the point currently adjusted like 1 and 2.

[0017] 1) A tempering bainite texture and tempering martensitic structure are the sum totals, and it is 20 – 100% (area percentage).

2) A playback pearlite organization is 0 – 50% (area percentage).

Said steel for steering racks may be independent, or may contain further B:0.0005 – 0.0020% with Ti:0.005–0.050%.

[0018] With moreover, the manufacture approach of the steel for steering racks excellent in the bending property concerning this invention C:0.40 – 0.60% (it is the same the following which means mass %), Si:0.05–0.50%, Mn:0.05–1.50%, and S:0.004 – 0.100% are contained. As an element of further others Cr: Less than [ 1.5% ] (0% is not included), aluminum:0.0005–0.10%, And at least one sort of elements chosen from the group which consists of N:0.002 – 0.020% are contained. The remainder rolls out the steel materials which consist of Fe and an unescapable impurity, and the steel bar obtained is heated in temperature of 820 degrees C or more. By putting into the furnace heated to ambient temperature with a temperature of 680 degrees C or more, performing short-time tempering processing for 20 or less minutes, and carrying out air cooling to a room temperature, after carrying out controlled cooling to a room temperature with water cooling The parts of depth D / 4 (D shows the diameter of a steel bar) are made for a tempering bainite texture and tempering martensitic structure to become 20 – 100% (area percentage) from the front face of a steel bar in total. And it has a summary at the point of making a playback pearlite organization become 0 – 50% (area percentage).

[0019] In addition, below, in this specification, the vocabulary "hardening" means hardening at the time of hardening and annealing of the steel bar after rolling, and it is used for it in distinction from the vocabulary "induction hardening."

[0020]

[Embodiment of the Invention] In this invention, C:0.40 – 0.60% (it is the same the following which means mass %), Si:0.05–0.50%, Mn:0.05–1.50%, and S:0.004 – 0.100% are contained. As an element of further others Cr: Use the steel materials containing at least one sort of elements chosen from the group which consists of less than [ 1.5% ] (0% is not included), aluminum:0.0005–0.10%, and N:0.002 – 0.020% (steel materials 1 are called hereafter). In addition, the remainders are Fe and an unescapable impurity. The reason for limitation of the above-mentioned component is as follows.

[0021] The content of C is made into 0.40% or more for giving a radio-frequency-curing property to steel materials, and raising the abrasion resistance of the tooth form section (rack section) of the steering rack obtained. Especially the content of desirable C is 0.48% or more 0.45% or more. However, if there are too many contents of C, the impact property-proof of a steering rack will fall, and it will become easy to produce a quench crack at the time of induction heat treatment. Therefore, the content of C is preferably made 0.53% or less still more preferably 0.55% or less 0.60% or less.

[0022] The content of Si is made into 0.05% or more for deoxidizing steel materials. Especially the content of desirable Si is 0.20% or more 0.15% or more. However, if there are too many contents of Si, the machinability at the time of forming the tooth form section (rack section) will fall. Therefore, the content of Si is preferably made 0.30% or less still more preferably 0.35% or less 0.50% or less.

[0023] The content of Mn is made into 0.05% or more by making a bainite texture easy to raise hardenability and to introduce for raising the bending property when processing steel materials into a steering rack in order to raise the reinforcement of steel materials. Especially the content of desirable Mn is 0.80% or more 0.70% or more. However, if there are too many contents of Mn, it will burn at the time of induction heat treatment, and will become easy to produce a crack. Therefore, the content of Mn is preferably made 1.20% or less still more preferably 1.30% or less 1.50% or less.

[0024] The content of S is made into 0.004% or more for raising the machinability at the time of forming the tooth form section (rack section). Especially the desirable content of S is 0.050% or more 0.040% or more. However, if there are too many contents of S, the bending property when processing steel materials into a steering rack will fall. Therefore, the content of S is preferably made 0.070% or less still more preferably 0.080% or less 0.100% or less.

[0025] It is for on a hardening disposition to make Cr contain. Although especially the minimum of the content of Cr is limited and there is, it is about 0.15% preferably [ it is desirable and ] to about 0.10% and a pan about 0.05%, for example. [ no ] However, if there are too many contents of Cr, it will become easy to produce a quench crack at the time of induction heat treatment. therefore, the content of Cr — for example, it is preferably made to 0.50% or less still more preferably 1.0% or less 1.5% or less.

[0026] It is for making detailed the austenite grain at the time of induction heat treatment by combining with N and making AlN form to make aluminum contain. the content of aluminum — for example, it is 0.020% or more still more preferably 0.010% or more preferably 0.0005% or more. However, the effectiveness is saturated even if it makes [ many ] the content of aluminum too much. therefore, the content of aluminum — for example, it is preferably made to 0.040% or less still more preferably 0.050% or less 0.10% or less.

[0027] It is for making detailed the austenite grain at the time of induction heat treatment by combining with aluminum and making AlN form to make N contain. the content of N — for example, it is 0.004% or more still more preferably 0.003% or more preferably 0.002% or more. However, the effectiveness is saturated even if it makes [ many ] the content of N too much. therefore, the content of N — for example, it is preferably made to 0.007% or less still more preferably 0.010% or less 0.020% or less.

[0028] Said steel materials 1 may be independent, or may contain further B:0.0005 – 0.0020% with Ti:0.005–0.050% (steel materials 2 are called hereafter).

[0029] It is for raising induction hardening nature to make B contain. the content of B — for example, it is 0.0015% or more still more preferably 0.0010% or more preferably 0.0005% or more. However, the effectiveness is saturated even if it makes [ many ] the content of B too much. Therefore, the content of B is preferably made 0.0017% or less 0.0020% or less, for example.

[0030] Ti is used together with B by being connected with N in steel and forming TiN for controlling generation of BN and securing the induction hardening disposition top effectiveness by B. the content of Ti — for example, it is 0.020% or more still more preferably 0.015% or more preferably 0.002% or more. However, if the content of Ti is made [ many ] too much, the toughness and fatigue strength of a steering rack will fall. therefore, the content of Ti — for example, it is preferably made to 0.035% or less still more preferably 0.040% or less 0.050% or less.

[0031] In this invention, it is made the steel bar by rolling out said steel materials 1–2. although especially the diameter of the steel bar obtained is not limited, if it takes into consideration processing it into a steering rack — usually — it is about 25–35mm still more preferably about 23–38mm preferably about 20–40mm.

[0032] The obtained steel bar is hardened by heating in temperature of 820 degrees C or more, and carrying out controlled cooling to a room temperature with water cooling. By this hardening actuation, martensitic structure can be introduced into a steel bar a bainite texture and if needed. If a bainite texture and martensitic structure are introduced, by controlling the conditions of the below-mentioned tempering processing appropriately, a tempering bainite texture and tempering martensitic structure can be made to be able to remain, and the bending property when processing it into a steering rack can be raised. In addition, even if it anneals the steel of the organization of only a ferrite and a pearlite, an organization can hardly change and cannot prevent the crack by bending.

[0033] Temperature of heating is made into 820 degrees C or more for controlling generation of a big and rough ferrite. If a big and rough ferrite increases, even if it introduces a bainite texture and martensitic structure by controlled cooling, the toughness of a steel bar will fall and prevention of the crack of the steering rack obtained by processing this steel bar will become difficult. 840 degrees C or more whenever [ stoving temperature ] is 860 degrees C or more still more preferably preferably. In addition, the upper limit of whenever [ stoving temperature ] is usually about 900 degrees C.

[0034] In controlled cooling, more than 20% (area percentage), preferably, the sum total of the bainite texture in the D/4 section of a steel bar and martensitic structure needs to carry out more than 35% (area percentage) so that it may become more than 50% (area percentage) still more preferably. Although the conditions of such controlled cooling can be suitably set up according to the presentation of steel etc., it is desirable to, cool the field of temperature extent of 880–300 degrees C (preferably 850–350 degrees C) for example, with the cooling rate of 30–80 degrees C (preferably 40–70 degrees C/(second))/second.

[0035] The steel bar with which the bainite texture obtained as mentioned above and martensitic structure were introduced carries out tempering processings for 20 or less (preferably 15 or less minutes, still more preferably 10 or less minutes) minutes including a temperature up process. Tempering time amount was made into 20 or less minutes for reducing a production cost. in addition, tempering time amount — usually — it is 5 minutes or more still more preferably 4 minutes or more preferably 3 minutes or more.

[0036] And even if it is annealing of the above short time, while preventing that control the fall of the machinability of a steel bar and the effectiveness of a cost cut is offset in this invention, it is important to raise the bending property of a steel bar. So, in this invention, ambient temperature of the furnace used for tempering processing is made into 680 degrees C or more. If temperature of a furnace is made into 680 degrees C or more, even if it is short-time annealing for 20 or less minutes, the Vickers hardness number of a steel bar can be reduced (being able to make it 305 or less HV), and machinability can be raised. In addition, the temperature of said furnace is 700 degrees C or more preferably. The hardness of a steel bar can be reduced certainly, for example, it may be able to be made hardness (for example, 200 – 270HV extent) comparable as the usual tempering material, so that temperature of a furnace is made high.

[0037] On the other hand, in order to raise the bending property of a steel bar, the area percentage (B+M percentage) of the sum total of the tempering bainite texture of the D/4 section after annealing and tempering martensitic structure maintains 20% or more, and needs to control a rebirth of the pearlite organization of the D/4 section below to 50% (area percentage) (0% is included). Even if it adds bending to the steering rack obtained cutting and by carrying out induction heat treatment in this steel bar by controlling the organization after annealing as mentioned above, propagation of the crack generated in the induction hardening section can be stopped by said organization, and the crack of the steering rack itself can be prevented. A B+M percentage is 50% or more still more preferably 35% or more preferably. In addition, especially the upper limit of a B+M percentage may not be limited, for example, may be 100%. Moreover, a playback pearlite organization is 20% or less still more preferably 30% or less preferably.

[0038] In order to control the organization after annealing, it is important not to strengthen tempering conditions too much within the limits of the above-mentioned tempering conditions (680 degrees C or more, less than 20 minutes). Since it becomes easy to reduce the bainite texture and martensitic structure which were introduced by controlled cooling and becomes easy to reproduce a pearlite so that tempering conditions are strengthened, it becomes easy for a bending property to fall.

[0039] Although it can set up suitably according to the amount of the bainite texture and martensitic structure which were introduced at the time of a presentation and controlled cooling of steel, when tempering time amount is about 3 – 20 minutes for example, as for the tempering conditions (temperature, time amount) for controlling the organization after annealing, it is desirable [ temperature ] to consider as 800-degree-C or less (preferably 750 degrees C or less) extent.

[0040] Air cooling of the steel bar annealed as mentioned above is carried out to a room temperature.

[0041] The steel bar obtained as mentioned above is useful as steel for steering racks. That is, after said steel bar performs the further drawing-out processing and further cutting if needed, it forms the tooth form section (rack section) by cutting, and is processed into a steering rack by carrying out induction heat treatment (induction hardening). As said tooth form section, with a depth of about D/4 tooth form is formed in many cases. Moreover, in said induction heat

treatment, carry out induction hardening by Mr. Fukashi of D / 4 section extent in many cases, and let hardness of the induction hardening section be 600 – 800HV extent in many cases.

[0042] If the steel bar obtained as mentioned above is used when manufacturing a steering rack as mentioned above, the hardness of a steel bar of the front face of the D/4 section is low, for example, since it is 305 or less HV extent, the tooth form section can be easily formed at the time of said cutting, and — since the induction hardening section (surface section) of a steering rack is very hard, if big bending is performed, although it will be easy to generate a crack in the induction hardening section — the above, if the steel bar obtained by making it like is used Since a tempering bainite texture and tempering martensitic structure remain on the boundary (usually D / near 4 sections) with the part by which induction hardening was not carried out to the induction hardening section, it can prevent that the crack of the induction hardening section spreads inside, and the crack of the steering rack itself can be prevented.

[0043]

[Example] Although an example is given and this invention is explained more concretely hereafter, of course, it is also possible for this invention to add and carry out modification suitably [ in the range which does not receive a limit according to the following example and may suit before and the after-mentioned meaning ] from the first, and each of they is included by the technical range of this invention.

[0044] After making it with rolling a steel bar with a diameter of 30mm using the examples A1–A17 of an experiment, B1 – B5, and the steel materials of a C1 predetermined presentation and heating to predetermined temperature, controlled cooling was carried out to the room temperature. The conditions of controlled cooling changed and prepared amount of water and water-cooled time amount in order to obtain the target steel bar organization. The cooled steel bar was annealed by carrying out predetermined time stagnation at the furnace heated to predetermined ambient temperature. The steel bar after annealing was cooled radiationally.

[0045] It gazed at the organization of the D/4 section of the steel bar after hardening, and the organization of the D/4 section of the steel bar after annealing with the electron microscope, and the Vickers hardness number of the D/4 section of the steel bar after annealing was measured. While the steel bar after annealing was furthermore processed into the steering rack as follows and the bending test estimated the bending property, the Vickers hardness number of the rack section of a steering rack was measured.

[0046] [Steering rack processing] After carrying out the drawing of the steel bar obtained as mentioned above and making it the diameter of 27.5mm, it cut and the tooth form (rack) was formed. The depth of the tooth form is about about D / 4. And induction hardening was carried out from the bottom with the effective case depth hardened by carburizing treatment in Mr. about 1mm Fukashi.

[0047] In the three-point bending test with a distance [ between the [bending test] supporting points ] of 400mm, the opposite side of the gear tooth of a steering rack was pressed, bending to the include angle of 150 degrees was performed, and the existence of a crack was judged in accordance with the following criteria.

[0048]

(x) — (O)—crack-less : which the crack has spread to the part by which breaks, and exists and induction hardening is not carried out only not only in induction hardening section (part from a front face to D / 4 section extent) (from a part deeper than the D/4 section to near a core) — the result which has not been spread to near a core even if there is no crack completely or there is a crack is shown in Table 2.

[0049]

[Table 2]

表2

実験例	鋼材想成(単位二質量%)：液相化及び不可避的不純物)						焼入れ・制御冷却工程			焼戻し工程			焼戻し後棒鋼 曲げ試験	ステアリングラック	
	C	Si	Mn	S	Al	N	日	加熱温度 (°C)	B+M百分率 (制御冷却法)	炉温度 (°C)	滞留時間 (分)	B+M百分率 (焼戻し後)	再生バー・ライト (面積百分率)		
A1	0.45	0.21	0.75	0.055	0.024	0.0055	-	880	70%	800	10	70%	0%	280	O 670
A2	0.45	0.19	0.76	0.055	0.020	0.0064	-	880	70%	800	5	70%	0%	245	O 665
A3	0.45	0.21	0.74	0.055	0.022	0.0052	-	880	70%	800	20	40%	40%	210	O 660
A4	0.48	0.20	0.75	0.055	0.045	0.0047	-	880	70%	800	30	0%	100%	200	x 680
A5	0.45	0.21	0.76	0.054	0.026	0.0066	-	880	70%	650	20	70%	0%	310	O 670
A6	0.45	0.22	0.75	0.055	0.015	0.0055	-	880	70%	700	20	70%	0%	300	O 670
A7	0.45	0.20	0.75	0.055	0.011	0.0041	-	880	70%	750	20	60%	25%	266	O 675
A8	0.45	0.20	0.76	0.055	0.018	0.0048	-	880	70%	800	20	30%	50%	230	O 670
A9	0.45	0.20	0.76	0.055	0.018	0.0048	-	880	70%	880	20	25%	60%	230	x 670
A10	0.45	0.21	0.75	0.055	0.019	0.0050	-	880	70%	930	20	0%	90%	245	x 675
A11	0.45	0.20	0.74	0.055	0.025	0.0056	-	880	0%	750	10	0%	0%	235	x 675
A12	0.45	0.19	0.75	0.054	0.026	0.0060	-	880	15%	750	10	15%	0%	240	x 670
A13	0.45	0.20	0.75	0.055	0.033	0.0035	-	880	35%	750	10	35%	0%	246	O 675
A14	0.45	0.20	0.75	0.055	0.035	0.0025	-	880	60%	750	10	60%	0%	260	O 670
A15	0.45	0.21	0.75	0.055	0.024	0.0055	-	820	65%	800	10	65%	0%	275	O 670
A16	0.45	0.21	0.76	0.056	0.024	0.0066	-	790	30%	800	10	30%	0%	255	x 670
A17	0.45	0.23	0.77	0.056	0.016	0.0055	-	880	60%	700	20	20%	50%	220	O 675
B1	0.55	0.22	0.74	0.054	0.024	0.0065	-	880	70%	850	10	70%	0%	290	O 720
B2	0.53	0.20	0.74	0.051	0.024	0.0057	-	880	70%	850	10	70%	0%	287	O 710
B3	0.38	0.21	0.75	0.055	0.024	0.0055	-	880	70%	800	10	70%	0%	270	O 570
B4	0.46	0.21	0.01	0.056	0.024	0.0055	-	880	0%	750	10	0%	0%	200	x 680
B5	0.46	0.21	1.5	0.056	0.015	0.0054	-	880	80%	750	20	80%	0%	250	O 680
C1	0.50	0.25	0.75	0.052	0.018	0.0033	0.0015	880	70%	750	10	50%	30%	285	O 700

[0050] The example A1 of an experiment – A4 considered the effect of the residence time (tempering time amount) of a tempering furnace. Since the B+M percentage of the steel bar after annealing is 20% or more and a playback pearlite organization is 50% or less when the residence times are the example A1 of an experiment which is 20 or less minutes – A3, the crack of a steering rack does not occur in a bending test. On the other hand, since not only productivity falls, but the B+M percentage of the steel bar after annealing disappears completely, will be in the condition of an abbreviation normalizing organization and the whole becomes a ferrite + pearlite organization when the residence time is example A4 of an experiment which is 30 minutes, a steering rack will break in a bending test.

[0051] Example A5–A of experiment 10 are the example which changed the temperature (tempering temperature) of a furnace among the tempering conditions (whenever [ coke–oven–temperature ] = 800 degrees C, residence–time = 20

minutes) of said example A3 of an experiment. In example A5 of an experiment, the hardness after annealing, since the temperature of a furnace is too as low as 650 degrees C serves as 310HV, and machinability falls. In example A9-Aof experiment 10, since the temperature of a furnace is too as high as 880-930 degrees C, a playback pearlite organization will exceed 50%, and a steering rack will break in a bending test. On the other hand, in the examples A6-A8 of an experiment, since temperature of a furnace is made into 680 degrees C or more, while hardness after annealing is made to 305 or less HV and being able to prevent the fall of machinability, since the temperature of a furnace is raised too much, reduction of a B+M percentage and a rebirth of a pearlite organization can be controlled, and it can prevent that a steering rack breaks in a bending test. In addition, if the residence time is shortened and a rebirth of a pearlite organization is controlled even if it is the temperature of said about [ example A9-Aof experiment 10 ] furnace, the crack of a steering rack can be prevented.

[0052] The examples A11-A14 of an experiment considered the effect of the organization after controlled cooling by changing the conditions of controlled cooling to said example A1 of an experiment. In the examples A11-A12 of an experiment, since the B+M percentage after controlled cooling is as small as 0 - 15%, a subsequent tempered steel bar will also have a small B+M percentage, and a steering rack will break in a bending test. On the other hand, in the examples A13-A14 of an experiment, since the B+M percentage was made into 35 - 60% and the subsequent tempered steel bar has also controlled reduction of a B+M percentage by controlled cooling, it can prevent that a steering rack breaks in a bending test.

[0053] The examples A15-A16 of an experiment considered the effect of whenever [ stoving temperature / at the time of hardening ]. In the example A16 of an experiment whenever [ stoving temperature / whose ] is 790 degrees C, although a B+M percentage is 30%, since a big and rough ferrite generates at the time of heating, a steering rack will break in a bending test. On the other hand, in the example A15 of an experiment whenever [ stoving temperature / whose ] is 820 degrees C, the crack of a steering rack can be prevented as the purpose.

[0054] The examples B1-B3 of an experiment considered the effect of the amount of C of steel materials. In the example B3 of an experiment with as few amounts of C as [ 0.38% ], since a radio-frequency-curing property falls, the hardness of the rack section of a steering rack falls and abrasion resistance falls. On the other hand, in the example B1 of an experiment whose amount of C is 0.53 - 0.54% - B-2, the steering rack excellent in abrasion resistance can be obtained.

[0055] Example B4 of an experiment - B5 considered the effect of the amount of Mn of steel materials. Even if the amount of Mn performs controlled cooling in 0.01% and little example B4 of an experiment, it is difficult to make a B+M percentage into 20% or more, and a steering rack will break in a bending test. On the other hand, in example B5 of an experiment whose amount of Mn is 1.5%, by controlled cooling, a B+M percentage can be easily made 20% or more, and the crack of a steering rack can be prevented in a bending test.

[0056] The example C1 of an experiment examined the addition effectiveness of B. Induction hardening nature can be raised by adding B. And since a predetermined bending property is not only maintainable, but a B+M percentage is made to 20% or more and the hardness of a tempered steel bar can be reduced by predetermined annealing even if it adds B, machinability is not spoiled.

[0057]

[Effect of the Invention] Since according to this invention it is beyond predetermined temperature also as 20 or less minutes and tempering temperature is annealed, there is no fear at the sacrifice of machinability, and the production cost of a steel bar can be reduced. And since the organization of a steel bar is controlled by said annealing, a bending property can be improved, and even if it adds about 150-degree bending to the steering rack obtained by processing this steel bar, the crack of a steering rack can be prevented.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing 1 is a graph which shows the relation between the temperature of a tempering furnace, and the hardness of the steel bar after annealing.

[Drawing 2] Drawing 2 is the electron microscope photograph of the D/4 section of the steel bar after performing annealing for 20 minutes at the temperature of 750 degrees C.

[Drawing 3] Drawing 3 is the electron microscope photograph of the D/4 section of the steel bar after performing hardening / tempering processing (for the temperature of 600 degrees C, and 120 minutes) on condition that the former.

[Drawing 4] Drawing 4 is an electron microscope photograph in which a playback pearlite organization is shown.

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-166036

(P2003-166036A)

(43)公開日 平成15年6月13日(2003.6.13)

(51)Int.Cl.<sup>1</sup>

C 22 C 38/00  
C 21 D 9/32  
C 22 C 38/38  
F 16 H 55/06  
55/26

識別記号

3 0 1

F I

7-71-7(参考)

C 22 C 38/00  
C 21 D 9/32  
C 22 C 38/38  
F 16 H 55/06  
55/26

3 0 1 Y 3 J 0 3 0

A 4 K 0 4 2

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全11頁)

(21)出願番号

特願2001-363051(P2001-363051)

(22)出願日

平成13年11月28日(2001.11.28)

(71)出願人 000001247

光洋精工株式会社

大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号

(71)出願人 000001199

株式会社神戸製鋼所

兵庫県神戸市中央区臨浜町二丁目10番26号

(72)発明者 太田 敦彦

大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号

光洋精工株式会社内

(74)代理人 100067828

弁理士 小谷 悅司 (外1名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ステアリングラック用鋼及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 曲げ特性に極めて優れるステアリングラック用鋼を低成本で製造する。

【解決手段】 C: 0.40~0.60%、Si: 0.05~0.50%、Mn: 0.05~1.50%、及びS: 0.004~0.100%を含有し、更に他の元素として、Cr: 1.5%以下、Al: 0.0005~0.10%、N: 0.002~0.020%などを含有し、残部はFe及び不可避的不純物からなる鋼材を圧延し、得られる棒鋼を温度820°C以上に加熱してから制御冷却した後、温度680°C以上で20分以下の短時間焼戻し処理を行うことによって、棒鋼の表面から深さD/4(Dは棒鋼の直径を示す)の部分を、焼戻しとペイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織が合計で20~100% (面積百分率)となるようにし、かつ再生バーライト組織が0~50% (面積百分率)となるようにする。

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 C : 0. 40~0. 60% (質量%を意味する、以下同じ)、 Si : 0. 05~0. 50%、 Mn : 0. 05~1. 50%、及び S : 0. 004~0. 100%を含有し、更に他の元素として、 Cr : 1. 5%以下 (0%を含まず)、 Al : 0. 0005~0. 10%、及び N : 0. 002~0. 020%よりなる群から選択される少なくとも1種の元素を含有し。

残部はFe及び不可避的不純物からなる棒鋼であって、焼入れ及び短時間焼戻しによって、棒鋼の表面から深さD/4 (Dは棒鋼の直径を示す) の部分の焼入れ・焼戻し組織が、下記1) 及び2) のように調整されている曲げ特性に優れたステアリングラック用鋼。

1) 焼戻しペイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織が合計で20~100% (面積百分率)

2) 再生バーライト組織が0~50% (面積百分率)

【請求項2】 更にB : 0. 0005~0. 0020%を、単独で又はTi : 0. 005~0. 050%と共に、含有するものである請求項1記載のステアリングラック用鋼。

【請求項3】 C : 0. 40~0. 60% (質量%を意味する、以下同じ)、 Si : 0. 05~0. 50%、 Mn : 0. 05~1. 50%、及び S : 0. 004~0. 100%を含有し、更に他の元素として、 Cr : 1. 5%以下 (0%を含まず)、 Al : 0. 0005~0. 10%、及び N : 0. 002~0. 020%よりなる群から選択される少なくとも1種の元素を含有し。

更に他の元素として、 Cr : 1. 5%以下 (0%を含まず)、 Al : 0. 0005~0. 10%、及び N : 0. 002~0. 020%よりなる群から選択される少なくとも1種の元素を含有し、

残部はFe及び不可避的不純物からなる鋼材を圧延し、得られる棒鋼を温度820°C以上に加熱し、水冷にて室温まで制御冷却した後、温度680°C以上の雰囲気温度に加熱した炉に入れて20分以下の短時間焼戻し処理を行い室温まで空冷することによって、

棒鋼の表面から深さD/4 (Dは棒鋼の直径を示す) の部分を、焼戻しペイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織が合計で20~100% (面積百分率) となるようにし、かつ再生バーライト組織が0~50% (面積百分率) となるようにした曲げ特性に優れたステアリングラック用鋼の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自動車のステアリングギアに使用するラック (ステアリングラック) を製造するのに有用な棒鋼及びその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】ステアリングは自動車の方向を制御する装置であり、その機能が失われると重大な事故となるた

10

2

め重要保安部品に指定されている。中でもステアリングラックは、骨組みの役割も有しているため、例えば自動車が縁石に乗り上げた時などに大きな衝撃荷重が作用しても大きく割損しないことが望まれている。従ってステアリングラック用の鋼材は、高い耐衝撃特性と曲げ変形能 (耐割れ性) が求められている。さらにステアリングラックは、ピニオンと噛合うため歯型部 (ラック) を有している。この歯型部は耐磨耗性が要求される。

【0003】上記の要求を満たすため、ステアリングラックは、通常、中炭素鋼から製造される。すなわち中炭素鋼を圧延し、得られた棒鋼を焼入れ焼戻し処理した後、切削によって歯型部 (ラック) を形成し、高周波焼入れすることによってステアリングラックを製造している。焼入れ焼戻し処理した中炭素鋼は、高い耐衝撃特性と曲げ変形能を有している。また中炭素鋼は高周波熱処理硬化特性も有しているため、歯型部 (ラック) の耐磨耗性を高めることもできる。

【0004】しかし前記焼入れ焼戻し処理は、一般には、焼入炉で加熱した後、水冷し、温度600°Cで2時間程度焼戻し処理を行うことによって行って行っており、生産性が低く、高コストになっている。コストダウンするためには、焼戻し時間を短縮することが考えられるものの、焼戻し時間を短縮すると棒鋼の軟化が不十分となって、歯型部 (ラック) の切削加工性が低下してしまいコストダウンの効果が相殺されてしまう。なお切削加工を行うためには、ピッカース硬さで、例えば305HV以下であることが要求される。

【0005】一方、コストダウンのために鋼の非調質化を提案している発明もある。例えば、特開平10-8189号公報に記載の発明は、ステアリングラックなど高周波焼入れ処理を施される部品において、部品に過大な負荷が作用しても脆性的な破断を生じることなく、曲げ変形することによって破断を防止することを課題としており、さらには製造コストの低減を図るために従来から実施されている焼入れ焼戻し処理を省略すると共に、これら焼入れ焼戻し処理を省略しても同等の強度特性を得ることを課題としている。そしてこの発明では、前記課題を解決するため、鋼にBを添加することによって高周波焼入れ処理部の曲げ特性を改善すると共に、高周波焼入れ部の有効深さをt、部品半径をrとしたとき、t/rを0.3以上にすることによって、強度を高めている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記の様な事情に着目してなされたものであって、その目的は、低コストでありながら曲げ特性に極めて優れるステアリングラックを製造するのに有用なステアリングラック用鋼及びその製造方法を提供することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、前記低コ

ストの課題を達成するため、中炭素鋼を圧延・焼入れし、その後焼戻しする際の焼戻し時間を20分以下にすることを目標とした。そしてこのような短い焼戻し時間でも、切削性を維持できる（コストダウンの効果を相殺しない）と共に、高周波誘導加熱した後の曲げ特性をも高めることができる製造条件について鋭意研究を重ねた結果、焼戻し温度を680°C以上にすれば焼戻し時間を短時間（20分以下）にしても、切削加工可能な程度にまで（例えば、305HV以下程度まで）硬さを低減できること、しかも短時間の焼戻し処理を行う際に鋼の組織を制御すると鋼をステアリングラックに加工したときの曲げ特性を高めることができることを見出した。すなわち、前記中炭素鋼にMnを添加し、焼入れ時に制御冷却することによってベイナイト組織やマルテンサイト組織を合計で20%（面積百分率）以上導入しておくと共に、前記短時間の焼戻しの際に、焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積が20%を下まらないよう、かつ再生パーライト組織が50%（面積百分率）を超えないように焼戻しを行えば、得られた鋼（棒鋼）を、切削・高周波焼入れしてステアリングラックを製造したとき、例えば、150°程度の極めて大きな曲げを行っても、ステアリングラックの表層部に形成された高周波焼入れ部には割れが入るもの、高周波焼入れ部と高周波焼入れされなかった部分との境界【通常、棒鋼の表面から深さD/4（Dは棒鋼の直径を示す）の部分；以下、前記深さD/4の部分を単にD/4部と称する場合がある】に残存している前記焼戻しベイナイト組織や焼戻しマルテンサイト組織によって割れの伝播を防止でき、ステアリングラック自体が割れるのを防止できることを見出した。

【0008】以上のこととデータに基づいて説明すると、下記の通りになる。

#### 【0009】1) 切削加工性について

図1は昇温過程を含めて20分間棒鋼を焼戻しするときの炉の温度と焼戻し後の棒鋼のD/4部の硬さとの関係\*

\*を示すグラフであり、図2は、温度750°Cで20分間の焼戻しを行った後のD/4部の電子顕微鏡写真であり、図3は、従来の条件で焼入れ・焼戻し処理（温度600°C、120分間）を行った後のD/4部の電子顕微鏡写真である。図1より明らかなように、焼戻し時間を20分間に短縮しても、炉の温度を680°C以上にすれば、棒鋼の硬さを305HV以下程度にすることができ、切削加工性の低下を防止できる。短時間の焼戻しでも棒鋼の硬さを低減できるのは、棒鋼の温度が上がるために炭化物の周辺がオーステナイト化し、炭化物の球状化が促進されているためと推定される（図2、図3参照）。

#### 【0010】2) 曲げ特性について

曲げ特性は、焼戻し後の棒鋼（直径30mm）を直径27.5mmに引抜き加工した後、歯型切削加工を施し、高周波熱処理したもの（ステアリングラック）について曲げ試験を行うことで評価した。曲げ試験では、3点曲げ試験（支点間距離400mm）によって歯の反対側を押圧し、角度150°の曲げを行い、割れの有無を目視で観察した。なおこの試験で「割れ有り（下記表1中、×印で表記）」とは、高周波焼入れ部（棒鋼の表面からD/4部程度までの部分）のみならず、高周波焼入れされていない部分まで（D/4部よりも深い部分から中心部付近まで）割れが伝播していることを意味し、「割れ無し（下記表1中、○印で表記）」とは、完全に割れがないか又は割れがあっても中心部付近まで伝播していないことを意味する。表1に、焼戻し後の棒鋼のD/4部の組織と、この棒鋼から得られるステアリングラックの曲げ試験結果との関係を示す。なお前記特開平10-8189号公報に記載の方法に従って、焼入れ焼戻しを省略することによって得られるステアリングラックについても同様に曲げ試験を行った。この結果も併せて表1に示す。

#### 【0011】

##### 【表1】

表1

No.	鋼材の製法	鋼材の組織		曲げ試験結果
		ベイナイト組織+マルテンサイト組織 (面積百分率)	再生パーライト組織 (面積百分率)	
1	制御冷却 短時間焼戻し	20%	0%	○
2		0%	0%	×
3		35%	0%	○
4		60%	0%	○
5		35%	25%	○
6		35%	50%	○
7		35%	60%	×
8	焼入れ焼戻し を省略	0%	-	×

【0012】表1より明らかなように、D/4部の焼戻しベイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織の合計の

面積百分率（以下、B+M百分率と表記する場合がある）が0%であればステアリングラックが割れてしまう

のに対して(No. 2)、B+M百分率が20%以上であれば、高周波焼入れ部からの割れの伝播を防止できるため、ステアリングラック自体の割れを防止できる(No. 1, 3~6)。なお上述したように、短時間焼戻しでは、温度680°C以上の高温で焼戻しを行っているため、制御冷却によってペイナイト組織やマルテンサイト組織を導入しても、焼戻し後は球状化した炭化物が分散した組織になっている(上記図2参照)。しかし球状化した焼戻しペイナイト組織や焼戻しマルテンサイト組織であっても、割れの伝播を抑制する効果は毫も損なわれない。

【0013】さらに短時間焼戻し処理では、再生バーライト組織の割合が大きくなり過ぎないようにすることが重要である(例えば、焼戻し温度を高くしすぎないことにより、又は焼戻し時間を20分よりもさらに短くすることにより、バーライト組織の再生を抑制できる)。再生バーライトは組織が粗く韌性に乏しいため、50%(面積百分率)を超えると、たとえB+M百分率を20%以上にても充分な曲げ特性を確保できない(表1のNo. 7)。

【0014】なお電子顕微鏡写真において、再生バーライト組織、焼戻しペイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織は、以下のようにして識別している。図4は、再生バーライト組織が形成された棒鋼の一例を示す電子顕微鏡写真である。この図4から明らかなように、再生バーライトのラメラー組織はほとんど分断されていない。再生バーライトのラメラー組織が分断されていないのは、短時間(高温)焼戻し時に生じたオーステナイトが空冷されることによってバーライト組織を生成するためである。一方、焼戻し前にあったバーライト組織は、焼戻し時の加熱により分断されている。従って、再生バーライト組織(分断されていないバーライト組織)は、焼戻し前から存在していたバーライト組織と容易に区別できる。

【0015】またフェライト及びバーライト組織(ラメラー組織)以外の焼戻し組織を焼戻しペイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織としている。すなわち焼戻しペイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織とを区別することは困難であるものの、フェライト及びバーライト組織(ラメラー組織)以外の焼戻し組織の面積を計測することにより、B+M百分率を求めることができる。

【0016】本発明は、以上のような知見に基づいてなされたものである。すなわち上記目的を達成し得た本発明の曲げ特性に優れたステアリングラック用鋼とは、C: 0.40~0.60% (質量%を意味する、以下同じ)、Si: 0.05~0.50%、Mn: 0.05~1.50%、及びS: 0.004~0.100%を含有し、更に他の元素として、Cr: 1.5%以下(0%を含まず)、Al: 0.0005~0.10%、及びN: 0.002~0.020%よりなる群から選択される少

なくとも1種の元素を含有し、残部はFe及び不可避的不純物からなる棒鋼であって、焼入れ及び短時間焼戻しによって、棒鋼の表面から深さD/4(Dは棒鋼の直径を示す)の部分の焼入れ・焼戻し組織が、下記1)及び2)のように調整されている点に要旨を有するものである。

【0017】1) 焼戻しペイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織が合計で20~100%(面積百分率)  
2) 再生バーライト組織が0~50%(面積百分率)

前記ステアリングラック用鋼は、更にB: 0.0005~0.0020%を、単独で又はTi: 0.005~0.050%と共に、含有していてもよい。

【0018】また本発明に係る曲げ特性に優れたステアリングラック用鋼の製造方法とは、C: 0.40~0.60% (質量%を意味する、以下同じ)、Si: 0.05~0.50%、Mn: 0.05~1.50%、及びS: 0.004~0.100%を含有し、更に他の元素として、Cr: 1.5%以下(0%を含まず)、Al: 0.0005~0.10%、及びN: 0.002~0.020%よりなる群から選択される少なくとも1種の元素を含有し、残部はFe及び不可避的不純物からなる鋼材を圧延し、得られる棒鋼を温度820°C以上に加熱し、水冷にて室温まで制御冷却した後、温度680°C以上の雰囲気温度に加熱した炉に入れて20分以下の短時間焼戻し処理を行い室温まで空冷することによって、棒鋼の表面から深さD/4(Dは棒鋼の直径を示す)の部分を、焼戻しペイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織が合計で20~100%(面積百分率)となるようにし、かつ再生バーライト組織が0~50%(面積百分率)となるようにする点に要旨を有するものである。

【0019】なお以下本明細書においては、用語「焼入れ」は、圧延後の棒鋼の焼入れ・焼戻し時の焼入れを意味し、用語「高周波焼入れ」と区別して使用する。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】本発明では、C: 0.40~0.60% (質量%を意味する、以下同じ)、Si: 0.05~0.50%、Mn: 0.05~1.50%、及びS: 0.004~0.100%を含有し、更に他の元素として、Cr: 1.5%以下(0%を含まず)、Al: 0.0005~0.10%、及びN: 0.002~0.020%よりなる群から選択される少なくとも1種の元素を含有する鋼材を用いる(以下、鋼材1と称する)。なお残部はFe及び不可避的不純物である。上記成分の限定理由は、以下の通りである。

【0021】Cの含有量を0.40%以上とするのは、鋼材に高周波硬化特性を付与して、得られるステアリングラックの歯形部(ラック部)の耐磨耗性を高めるためである。好ましいCの含有量は、0.45%以上、特に0.48%以上である。ただしCの含有量が多過ぎると、ステアリングラックの耐衝撃特性が低下し、また高

周波熱処理時に焼割れを生じ易くなる。そのためCの含有量は、0.60%以下、好ましくは0.55%以下、さらに好ましくは0.53%以下にする。

【0022】Siの含有量を0.05%以上とするのは、鋼材の脱酸を行うためである。好ましいSiの含有量は、0.15%以上、特に0.20%以上である。ただしSiの含有量が多過ぎると、歯形部（ラック部）を形成する際の切削加工性が低下する。そのためSiの含有量は、0.50%以下、好ましくは0.35%以下、さらに好ましくは0.30%以下にする。

【0023】Mnの含有量を0.05%以上とするのは、鋼材の強度を高めるためだけでなく、焼入れ性を高めてベイナイト組織を導入し易くすることにより、鋼材をステアリングラックに加工したときの曲げ特性を高めるためである。好ましいMnの含有量は、0.70%以上、特に0.80%以上である。ただしMnの含有量が多過ぎると、高周波熱処理時に焼き割れが生じ易くなる。そのためMnの含有量は、1.50%以下、好ましくは1.30%以下、さらに好ましくは1.20%以下にする。

【0024】Sの含有量を0.004%以上とするのは、歯形部（ラック部）を形成する際の切削加工性を高めるためである。好ましいSの含有量は、0.040%以上、特に0.050%以上である。ただしSの含有量が多過ぎると、鋼材をステアリングラックに加工したときの曲げ特性が低下する。そのためSの含有量は、0.100%以下、好ましくは0.080%以下、さらに好ましくは0.070%以下にする。

【0025】Crを含有させるのは、焼入れ性向上のためである。Crの含有量の下限は特に限定されないが、例えば、0.05%程度、好ましくは0.10%程度、さらに好ましくは0.15%程度である。ただしCrの含有量が多過ぎると、高周波熱処理時に焼き割れが生じ易くなる。そのためCrの含有量は、例えば、1.5%以下、好ましくは1.0%以下、さらに好ましくは0.5%以下にする。

【0026】Alを含有させるのは、Nと結合してAlNを形成させることにより、高周波熱処理時のオーステナイト粒を微細化するためである。Alの含有量は、例えば、0.0005%以上、好ましくは0.010%以上、さらに好ましくは0.020%以上である。ただしAlの含有量を多くし過ぎてもその効果が飽和する。そのためAlの含有量は、例えば、0.10%以下、好ましくは0.050%以下、さらに好ましくは0.040%以下にする。

【0027】Nを含有させるのは、Alと結合してAlNを形成させることにより、高周波熱処理時のオーステナイト粒を微細化するためである。Nの含有量は、例えば、0.002%以上、好ましくは0.003%以上、さらに好ましくは0.004%以上である。ただしNの

含有量を多くし過ぎてもその効果が飽和する。そのためNの含有量は、例えば、0.020%以下、好ましくは0.010%以下、さらに好ましくは0.007%以下にする。

【0028】前記鋼材1は、更にB:0.0005~0.0020%を、単独で又はTi:0.005~0.050%と共に、含有していてよい（以下、鋼材2と称する）。

【0029】Bを含有させるのは、高周波焼入れ性を高めるためである。Bの含有量は、例えば、0.0005%以上、好ましくは0.0010%以上、さらに好ましくは0.0015%以上である。ただしBの含有量を多くし過ぎてもその効果が飽和する。そのためBの含有量は、例えば、0.0020%以下、好ましくは0.0017%以下にする。

【0030】TiをBと併用するのは、鋼中のNと結びついてTiNを形成することによってBNの生成を抑制し、Bによる高周波焼入れ性向上効果を確保するためである。Tiの含有量は、例えば、0.002%以上、好ましくは0.015%以上、さらに好ましくは0.020%以上である。ただしTiの含有量を多くし過ぎると、ステアリングラックの韌性や疲労強度が低下する。そのためTiの含有量は、例えば、0.050%以下、好ましくは0.040%以下、さらに好ましくは0.035%以下にする。

【0031】本発明では前記鋼材1~2を圧延することによって棒鋼にしている。得られる棒鋼の直径は特に限定されないが、ステアリングラックに加工することを考慮すると、通常、20~40mm程度、好ましくは23~38mm程度、さらに好ましくは25~35mm程度である。

【0032】得られた棒鋼は、温度820°C以上に加熱し、水冷にて室温まで制御冷却することによって、焼入れる。この焼入れ操作によって、棒鋼にベイナイト組織と、必要に応じてマルテンサイト組織とを導入することができる。ベイナイト組織やマルテンサイト組織を導入しておくと、後述の焼戻し処理の条件を適切に制御することによって焼戻しベイナイト組織や焼戻しマルテンサイト組織を残存させることができ、ステアリングラックに加工したときの曲げ特性を高めることができる。なおフェライトとバーライトだけの組織の鋼を焼戻しても組織は殆ど変化せず、曲げによる割れを防止することができない。

【0033】加熱の温度を820°C以上とするのは、粗大なフェライト組織の生成を抑制するためである。粗大フェライトが多くなると、制御冷却によってベイナイト組織やマルテンサイト組織を導入しても、棒鋼の韌性が低下してしまい、この棒鋼を加工することによって得られるステアリングラックの割れの防止が困難になる。加熱温度は、好ましくは840°C以上、さらに好ましくは

860°C以上である。なお加熱温度の上限は、通常、900°C程度である。

【0034】制御冷却では、棒鋼のD/4部でのベイナイト組織及びマルテンサイト組織の合計が20%（面積百分率）以上、好ましくは35%（面積百分率）以上、さらに好ましくは50%（面積百分率）以上となるように行う必要がある。このような制御冷却の条件は、鋼の組成などに応じて適宜設定できるが、例えば、温度880~300°C（好ましくは850~350°C）程度の領域を、冷却速度30~80°C/秒（好ましくは40~70°C/秒）で冷却するのが望ましい。

【0035】上述のようにして得られたベイナイト組織やマルテンサイト組織が導入された棒鋼は、昇温過程を含めて20分以下（好ましくは15分以下、さらに好ましくは10分以下）の焼戻し処理をする。焼戻し時間を20分以下としたのは、生産コストを低減するためである。なお焼戻し時間は、通常、3分以上、好ましくは4分以上、さらに好ましくは5分以上である。

【0036】そして本発明では、前記のような短時間の焼戻しであっても、棒鋼の切削加工性の低下を抑制してコストダウンの効果が相殺されるのを防止すると共に、棒鋼の曲げ特性を高めることが重要である。そこで本発明では、焼戻し処理に使用する炉の雰囲気温度を680°C以上にしている。炉の温度を680°C以上にすれば、20分以下の短時間焼戻しであっても、棒鋼のピッカース硬さを低減でき（例えば、305HV以下にすることができる）、切削加工性を高めることができる。なお前記炉の温度は、好ましくは700°C以上である。炉の温度を高くする程、棒鋼の硬さを確実に低減でき、例えば、通常の焼戻し材と同程度の硬さ（例えば、200~270HV程度）にすることができる場合もある。

【0037】一方、棒鋼の曲げ特性を高めるためには、焼戻し後のD/4部の焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積百分率（B+M百分率）が20%以上を維持するようにし、かつD/4部のバーライト組織の再生を50%（面積百分率）以下（0%を含む）に抑制する必要がある。焼戻し後の組織を前記のように制御することによって、この棒鋼を切削・高周波熱処理することによって得られるステアリングラックに曲げを加えても、高周波焼入れ部に発生する割れの伝播を前記組織によって停止することができ、ステアリングラック自体の割れを防止できる。B+M百分率は、好ましくは35%以上、さらに好ましくは50%以上である。なおB+M百分率の上限は特に限定されず、例えば、100%であってもよい。また再生バーライト組織は、好ましくは30%以下、さらに好ましくは20%以下である。

【0038】焼戻し後の組織を制御するためには、上記焼戻し条件（680°C以上、20分以内）の範囲内で、焼戻し条件を強くし過ぎないことが重要である。焼戻し

条件を強くするほど、制御冷却によって導入したベイナイト組織及びマルテンサイト組織が低減しやすくなり、かつバーライトが再生しやすくなるため、曲げ特性が低下しやすくなる。

【0039】焼戻し後の組織を制御するための焼戻し条件（温度、時間）は、鋼の組成や制御冷却時に導入されたベイナイト組織やマルテンサイト組織の量に応じて適宜設定できるが、例えば、焼戻し時間が3~20分程度の場合、温度は800°C以下（好ましくは750°C以下）程度とするのが望ましい。

【0040】以上のようにして焼戻しした棒鋼は、室温まで空冷する。

【0041】上記のようにして得られた棒鋼は、ステアリングラック用鋼として有用である。すなわち前記棒鋼は、例えば、必要に応じてさらなる引抜加工や切断を施した後、切削によって歯形部（ラック部）を形成し、高周波熱処理（高周波焼入れ）をすることによってステアリングラックに加工される。前記歯形部としては、深さD/4程度の歯形を形成することが多い。また前記高周波熱処理では、D/4部程度の深さまで高周波焼入れするが多く、高周波焼入れ部の硬さは600~800HV程度となることが多い。

【0042】上記のようにしてステアリングラックを製造する場合、上述のようにして得られた棒鋼を用いると、棒鋼はD/4部の表面の硬さが低く、例えば、305HV以下程度であるため、前記切削加工時に容易に歯形部を形成できる。しかもステアリングラックは高周波焼入れ部（表層部）が極めて硬いために大きな曲げを施すと高周波焼入れ部に割れが発生しやすいものの、上記ようにして得られた棒鋼を用いれば、高周波焼入れ部と高周波焼入れされなかった部分との境界（通常、D/4部付近）に焼戻しベイナイト組織や焼戻しマルテンサイト組織が残存しているため、高周波焼入れ部の割れが内部に伝播するのを防止でき、ステアリングラック自体の割れを防止できる。

【0043】

【実施例】以下、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明するが、本発明はもとより下記実施例によって制限を受けるものではなく、前・後記の趣旨に適合し得る範囲で適宜に変更を加えて実施することも勿論可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に含まれる。

【0044】実験例A1~A17、B1~B5、及びC1

所定の組成の鋼材を用いて、圧延によって直径30mmの棒鋼にした後、所定の温度に加熱した後、室温まで制御冷却した。制御冷却の条件は、目的の棒鋼組織を得るために、水量や水冷時間を変えて調製した。冷却した棒鋼は、所定の雰囲気温度に加熱した炉に所定時間滞留させることによって焼戻しした。焼戻し後の棒鋼は放冷し

た。

【0045】焼入れ後の棒鋼のD/4部の組織、及び焼戻し後の棒鋼のD/4部の組織を電子顕微鏡で観察し、また焼戻し後の棒鋼のD/4部のピッカース硬さを測定した。さらに焼戻し後の棒鋼を下記のようにしてステアリングラックに加工し、その曲げ特性を曲げ試験によって評価すると共に、ステアリングラックのラック部のピッカース硬さを測定した。

【0046】【ステアリングラック加工】上記のようにして得られた棒鋼を引抜き加工して直径27.5mmにした後、切削して歯型（ラック）を形成した。歯型の深さは約D/4程度である。そして歯底から約1mm程度の深さまでの有効硬化層深さで高周波焼入れした。

【0047】【曲げ試験】支点間距離400mmの3点

曲げ試験において、ステアリングラックの歯の反対側を押圧して角度150°までの曲げを行い、下記基準に従って割れの有無を判断した。

【0048】

(×) 割れ有り：高周波焼入れ部（表面からD/4部程度までの部分）のみならず、高周波焼入れされていない部分まで（D/4部よりも深い部分から中心部付近まで）割れが伝播している

(○) 割れ無し：完全に割れがないか又は割れがあっても中心部付近まで伝播していない

結果を表2に示す。

【0049】

【表2】

表2

実験例	鋼材組成(単位=質量%:残割は5%及び不可避的不純物)						焼入れ・制御冷却工程		焼戻し工程		焼戻し後機械的性質		ステアリングラック ラック部の硬度 (HV)			
	C	Si	Mn	S	Al	N	日	加熱温度 (°C)	B+M百分率 (鉄鋼含む) (焼戻し後) (%)	焼留時間 (分)	B+M百分率 (焼戻し後) (面積百分率)	再生パーライト ロノ4部の硬さ (HV)				
A1	0.45	0.21	0.75	0.055	0.024	0.0055	-	880	70%	800	10	70%	0%	280	O	670
A2	0.45	0.19	0.75	0.055	0.020	0.0064	-	880	70%	800	5	70%	0%	245	O	665
A3	0.45	0.21	0.74	0.055	0.022	0.0052	-	880	70%	800	20	40%	40%	210	O	660
A4	0.46	0.20	0.75	0.055	0.045	0.0047	-	880	70%	800	30	0%	100%	200	x	680
A5	0.45	0.21	0.76	0.054	0.026	0.0066	-	880	70%	650	20	70%	0%	310	O	670
A6	0.45	0.22	0.75	0.055	0.015	0.0055	-	880	70%	700	20	70%	0%	300	O	670
A7	0.45	0.20	0.75	0.055	0.011	0.0041	-	880	70%	750	20	60%	25%	266	O	675
AB	0.45	0.20	0.76	0.055	0.018	0.0048	-	880	70%	800	20	30%	50%	230	O	670
A9	0.45	0.20	0.76	0.055	0.018	0.0048	-	880	70%	880	20	25%	60%	230	x	670
A10	0.45	0.21	0.75	0.055	0.019	0.0050	-	880	70%	930	20	0%	90%	245	x	675
A11	0.45	0.20	0.74	0.055	0.025	0.0056	-	880	0%	750	10	0%	0%	235	x	675
A12	0.45	0.19	0.75	0.054	0.026	0.0060	-	880	15%	750	10	15%	0%	240	x	670
A13	0.45	0.20	0.75	0.055	0.033	0.0035	-	880	35%	750	10	35%	0%	245	O	675
A14	0.45	0.20	0.75	0.055	0.035	0.0025	-	880	60%	750	10	60%	0%	250	O	670
A15	0.45	0.21	0.75	0.055	0.024	0.0065	-	820	65%	800	10	65%	0%	275	O	670
A16	0.45	0.21	0.75	0.055	0.024	0.0066	-	790	30%	800	10	30%	0%	255	x	670
A17	0.45	0.23	0.77	0.056	0.015	0.0055	-	880	60%	700	20	20%	50%	220	O	675
B1	0.55	0.22	0.74	0.054	0.024	0.0065	-	880	70%	850	10	70%	0%	290	O	720
B2	0.53	0.20	0.74	0.051	0.024	0.0057	-	880	70%	850	10	70%	0%	287	O	710
B3	0.38	0.21	0.75	0.055	0.024	0.0055	-	880	70%	800	10	70%	0%	270	O	570
B4	0.46	0.21	0.71	0.056	0.024	0.0055	-	880	0%	750	10	0%	0%	200	x	680
B5	0.46	0.21	1.5	0.056	0.015	0.0054	-	880	80%	750	20	80%	0%	250	O	680
C1	0.50	0.25	0.75	0.052	0.018	0.0033	0.0015	880	70%	750	10	50%	30%	285	O	700

【0050】実験例A1～A4では、焼戻し炉の滞留時間(焼戻し時間)の影響について検討した。滞留時間が20分以下である実験例A1～A3の場合は、焼戻し後の棒鋼のB+M百分率が20%以上であり再生パーライト組織が50%以下であるため、曲げ試験においてステ

アリングラックの割れが発生しない。これに対して、滞留時間が30分である実験例A4の場合は、生産性が低下するのみならず、焼戻し後の棒鋼のB+M百分率が完全に消失し、略焼ならし組織の状態となって全体がフェライト+パーライト組織になってしまふため、曲げ試験

においてステアリングラックが割れてしまう。

【0051】実験例A5～A10は、前記実験例A3の焼戻し条件（炉温度=800°C、滞留時間=20分）のうち、炉の温度（焼戻し温度）を変更した例である。実験例A5では炉の温度が650°Cと低すぎるために焼戻し後の硬さが310HVとなって切削加工性が低下する。実験例A9～A10では炉の温度が880～930°Cと高すぎるために再生パーライト組織が50%を超てしまい、曲げ試験においてステアリングラックが割れてしまう。これに対して、実験例A6～A8では、炉の温度を680°C以上としているため焼戻し後の硬さを305HV以下にでき、切削加工性の低下を防止できると共に、炉の温度を上げすぎていないためB+M百分率の低減やパーライト組織の再生を抑制でき、曲げ試験においてステアリングラックが割れるのを防止できる。なお前記実験例A9～A10程度の炉の温度であっても、滞留時間を短くしてパーライト組織の再生を抑制すれば、ステアリングラックの割れを防止できる。

【0052】実験例A11～A14では、前記実験例A1に対して制御冷却の条件を変更することにより、制御冷却後の組織の影響について検討した。実験例A11～A12では、制御冷却後のB+M百分率が0～15%と小さいため、その後の焼戻し棒鋼でもB+M百分率が小さく、曲げ試験においてステアリングラックが割れてしまう。これに対して、実験例A13～A14では、制御冷却によってB+M百分率を35～60%とし、その後の焼戻し棒鋼でもB+M百分率の低減を抑制しているため、曲げ試験においてステアリングラックが割れるのを防止できる。

【0053】実験例A15～A16では、焼入れ時の加熱温度の影響について検討した。加熱温度が790°Cである実験例A16では、B+M百分率が30%であるにも拘らず加熱時に粗大フェライトが生成するため、曲げ試験においてステアリングラックが割れてしまう。これに対して加熱温度が820°Cである実験例A15では、目的どおり、ステアリングラックの割れを防止できる。

【0054】実験例B1～B3では、鋼材のC量の影響について検討した。C量が0.38%と少ない実験例B

3では、高周波硬化特性が低下するため、ステアリングラックのラック部の硬さが低下し、耐磨耗性が低下する。これに対してC量が0.53～0.54%である実験例B1～B2では、耐磨耗性に優れたステアリングラックを得ることができる。

【0055】実験例B4～B5では、鋼材のMn量の影響について検討した。Mn量が0.01%と少ない実験例B4では、制御冷却を行ってもB+M百分率を20%以上とするのが困難であり、曲げ試験においてステアリングラックが割れてしまう。これに対してMn量が1.5%である実験例B5では、制御冷却によってB+M百分率を容易に20%以上にすることができ、曲げ試験においてステアリングラックの割れを防止できる。

【0056】実験例C1では、Bの添加効果について検討した。Bを添加することによって高周波焼入れ性を高めることができる。しかもBを添加しても、B+M百分率を20%以上にでき所定の曲げ特性を維持できるだけでなく、所定の焼戻しによって、焼戻し棒鋼の硬さを低減できるため、切削加工性を損なうことはない。

#### 【0057】

【発明の効果】本発明によれば、焼戻し温度を20分以下としても、所定温度以上で焼戻ししているため、切削加工性を犠牲にする虞がなく、棒鋼の生産コストを低減できる。しかも前記焼戻しによって棒鋼の組織を制御しているために曲げ特性を向上でき、この棒鋼を加工することによって得られるステアリングラックに150°程度の曲げを加えても、ステアリングラックの割れを防止できる。

#### 【図面の簡単な説明】

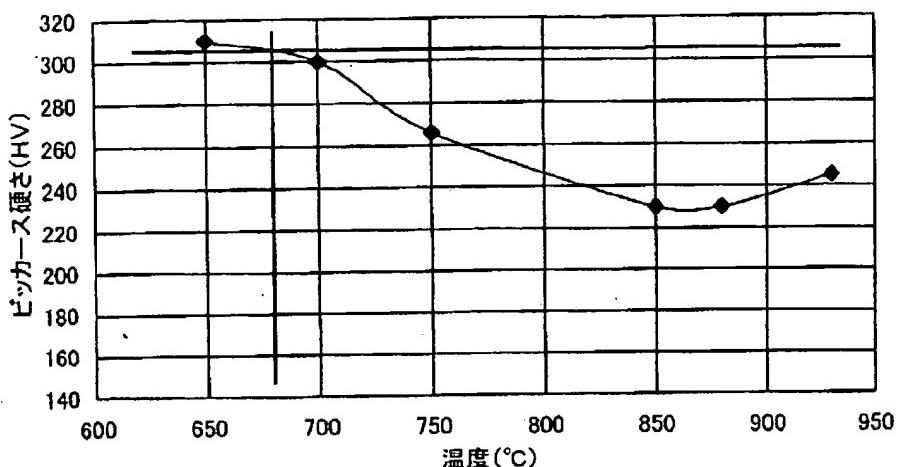
【図1】図1は焼戻し炉の温度と焼戻し後の棒鋼の硬さとの関係を示すグラフである。

【図2】図2は温度750°Cで20分間の焼戻しを行った後の棒鋼のD/4部の電子顕微鏡写真である。

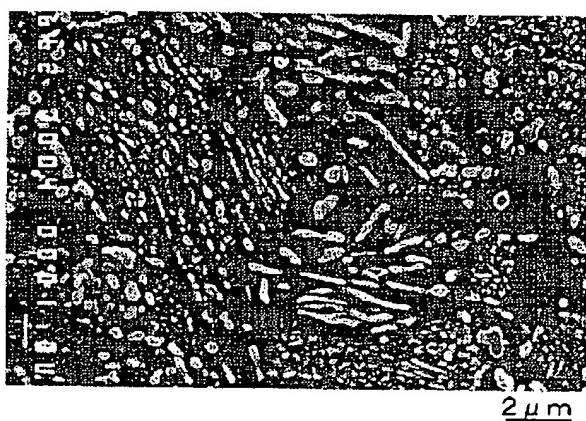
【図3】図3は従来の条件で焼入れ・焼戻し処理（温度600°C、120分間）を行った後の棒鋼のD/4部の電子顕微鏡写真である。

【図4】図4は再生パーライト組織を示す電子顕微鏡写真である。

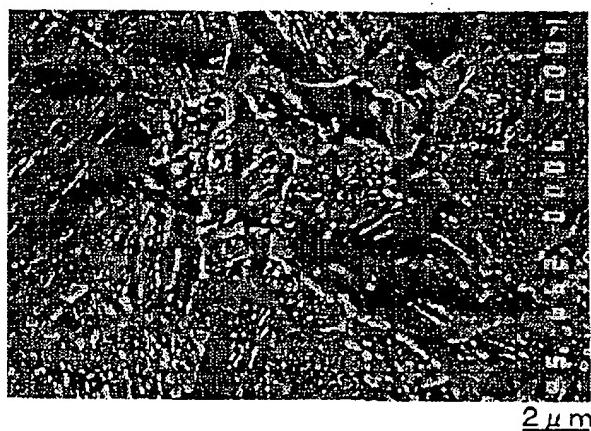
【図1】



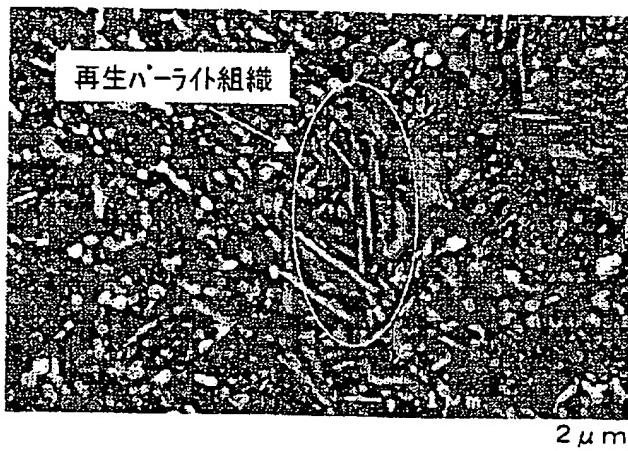
【図2】



【図3】



【図4】



## フロントページの続き

(72)発明者 亀井 亮  
大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号  
光洋精工株式会社内

(72)発明者 井戸尻 弘  
神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸  
製鋼所神戸製鉄所内

(72)発明者 阿南 吾郎  
神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸  
製鋼所神戸製鉄所内

F ターム(参考) 3J030 AC10 BA08 BC02 BC03 BC10  
4K042 AA19 BA13 CA02 CA06 DA01  
DA02 DB01 DC02 DC03

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.